

Esperando el tren: productividad territorial y el proyecto de alta velocidad ferroviaria en México

Waiting for the Train: Territorial Productivity and the High-speed Rail Project in Mexico

JOSÉ ANTONIO GUERRERO FERNÁNDEZ*

ENRIQUE LEONARDO KATO-VIDAL**

Abstract

In Mexico, there is no high-speed rail service, but the transportation infrastructure is associated with economic development. This article studies the effect that a high-speed route linking Guadalajara with the Port of Veracruz would have on productivity if it existed. For this, intensive production functions were estimated, adding accessibility indices as regressors; the main source of information was economic censuses. As expected, it was found that the existence of a high-speed transport service would increase labor productivity. This evidence serves as an input to analyze the financial viability of transport projects.

Keywords: *high speed rail, accessibility, productivity, territorial cohesion*

Resumen

En México no existe un servicio de alta velocidad ferroviaria pero la infraestructura de transporte está asociada al desarrollo económico. Este artículo estudia el efecto en la productividad si existiera una ruta de alta velocidad que uniera Guadalajara con el Puerto de Veracruz, para ello, se estimaron funciones de producción intensiva y se añadió como regresor el índice de accesibilidad; como principales fuentes de información se utilizaron los censos económicos. Como se esperaba, se encontró que la existencia del servicio de alta velocidad incrementaría la productividad laboral. Esta evidencia sirve como insumo para analizar la viabilidad financiera de proyectos de transporte.

Palabras clave: tren de alta velocidad, accesibilidad, productividad, cohesión territorial.

* Departamento de Construcción y Proyectos de Grupo LET, correo-e: jose.guerrero@let.com.mx

** Universidad Autónoma de Querétaro, correo-e: enriquekato@uaq.mx

Introducción

Las comunicaciones y su desarrollo desempeñan un papel importante en el progreso económico porque pueden promover las relaciones entre mercados, personas e ideas y, por lo tanto, proporcionar un beneficio a la economía. Los efectos indirectos del crecimiento económico¹ o externalidades positivas, que la infraestructura del transporte tiene sobre el mercado mexicano, han sido estudiados por Durán-Fernández y Santos (2014a y 2014b), sin embargo, son estudios limitados a la infraestructura caminera.

En otros países se han investigado los efectos producidos por la infraestructura ferroviaria de alta velocidad, por ejemplo, Chen y Wei (2018) realizan un modelo que relaciona los datos económicos de diversas provincias chinas con la línea ferroviaria de alta velocidad (LAV), Gutiérrez-Puebla (2004) analiza el proceso de contracción del espacio, la cohesión territorial y competitividad entre ciudades españolas enlazadas por este medio, en tanto que Spiekermann y Wegener (1994) estudian las relaciones espacio-temporales debidas a una LAV continental europea. En el caso de México, salvo estudios de proyectos particulares, no se han encontrado referencias en la literatura que relacionen al crecimiento económico con los trenes de alta velocidad (TAV).

La accesibilidad se utiliza en el contexto de los estudios del transporte como una herramienta para medir los beneficios otorgados por determinado sistema de transporte, su desarrollo y su ocupación de la tierra (Hansen, 1959; Ben-Akiva y Lerman, 1979). Las mejoras en los sistemas de transporte y su infraestructura conducen a una reducción general de los costos y tiempos de viaje, promueven una mejor movilidad y, por ende, derramas económicas positivas (Preston y Rajé, 2007). Vickerman (2015), para Francia, España y Reino Unido, estudia los impactos económicos particulares de las ciudades en torno a la LAV y detecta tres diferentes situaciones a partir de su operación: *i*) se refuerzan los patrones existentes, *ii*) se crea un nuevo polo económico que domina a los anteriores, o *iii*) se abren canales bidireccionales con beneficios mutuos en pares de ciudades.

En el presente artículo se abordan los posibles beneficios agregados del TAV en México con el criterio de Sala-i-Martin (1996) y Cabeza-Morales y Gutiérrez-Rey (2015), que deducen evidencia entre el crecimiento económico y la cohesión entre las regiones interconectadas² por

¹ El concepto de crecimiento económico que se empleó en este estudio atiende al aumento en las rentas regionales debido a la introducción de una técnica nueva (Márquez Ortiz *et al.*, 2020).

² La cohesión interregional se entiende en el presente artículo como las acciones conjuntas de las entidades territoriales, y sus administraciones, para la realización de tareas y obras necesarias al bien común (Cabeza-Morales y Gutiérrez-Rey, 2015).

algún medio de transporte donde esta evolución tiene lugar. No obstante, Ramos Melero y Sanz-Magallón Rezusta (2012) afirman que es incierto el resultado que tendría una ciudad dada y, por tanto, las autoridades locales deben actuar para complementar los beneficios potenciales de la infraestructura de transporte.

Este trabajo asume que el desarrollo económico es debido a una mayor productividad,³ gracias a la accesibilidad otorgada por los medios de transporte que enlazan a las regiones; el artículo busca responder, de instalarse un tren de alta velocidad en México, ¿qué efecto tendría sobre la productividad territorial?

Para responder a ello se aplican las metodologías de Durán-Fernández y Santos (2014a) y Chen y Wei (2018); se emplea un índice de accesibilidad de interacción espacial a una hipotética red de alta velocidad ferroviaria mexicana que enlace a las ciudades de Guadalajara (GDL) y México (CDMX) y, a esta última, con el Puerto de Veracruz (VER).

Para el primer par mencionado se analizaron dos posibles rutas: la primera vía León (LEÓN) y la segunda vía La Piedad (LPD). Si bien el TAV es un competidor natural de la aviación (De Rus e Inglada, 1993 y De Rus y Román, 2006), esta competencia es factible en recorridos a partir de 500 km (Herrera-García y Sánchez-López, 2014), por lo tanto, en este trabajo donde los arcos entre ciudades intermedias no alcanzan la distancia indicada, la competencia se acotó al hipotético TAV contra el modo carretero existente.

El análisis cuantifica qué beneficio habría, a nivel local, si se concretara la inversión de un TAV. En este sentido, es una contribución empírica que usa datos a nivel municipal para estimar el efecto que tendría este nuevo servicio sobre la productividad territorial. La productividad predicha que se logra entre las regiones, cuyos nodos son enlazados con estas hipotéticas LAV, se compara con la obtenida mediante los medios de transporte actualmente ofertados a los usuarios en los mismos recorridos. El incremento en la productividad favorece la cohesión interregional: en 10 años, con la LAV, ésta sería aproximadamente 2% mayor, en comparación a la situación actual, en los nodos dentro de la ruta GDL-CDMX. En la ruta CDMX-VER, el aumento estimado fue alrededor de uno por ciento.

1. Marco teórico

En Durán-Fernández y Santos (2014a) se presentó un modelo empírico de accesibilidad basado en la infraestructura caminera mexicana, haciendo

³ La productividad se define, en este trabajo, como el agregado bruto entre la cantidad de personal ocupado para cada par origen-destino enlazado (Durán-Fernández y Santos, 2014b).

estimaciones a nivel regional e interpretando sus resultados como el potencial de mercado de una región. Durán-Fernández y Santos (2014b) investigaron los efectos que esta misma infraestructura ejerce sobre la actividad industrial y establecieron una relación entre ambas: la primera tiene un efecto significativo y positivo sobre el producto medio del trabajo industrial, se encontró que la calidad y accesibilidad otorgada por los caminos son factores determinantes para lograrlo. En cuanto a estudios análogos con LAV, está el de Modelística (2014), donde se proyectó la demanda de usuarios que tendría el TAV México-Querétaro. En otros países también se han realizado estos estudios sobre las LAV, por ejemplo, Chen y Wei (2018) investigaron los efectos que sobre el crecimiento económico han logrado en China, y Spiekermann y Wegener (1994) para la totalidad de Europa. Ambos estudios, en lugar de utilizar distancias fijas entre regiones, adoptaron distancias espacio-temporales calculando las rutas más rápidas entre éstas. Así, encontraron externalidades positivas que relacionan la economía interregional con los TAV.

Goodall (1987: 6) definió *accesibilidad* como “la facilidad con que se puede alcanzar cierto sitio, desde otros puntos del territorio, sintetizando las oportunidades de contacto e interacción entre determinados orígenes y destinos”. Asimismo, Johnston *et al.* (2000: 2) indicaron que “accesibilidad es la oportunidad de interacción y contacto entre orígenes y destinos”.

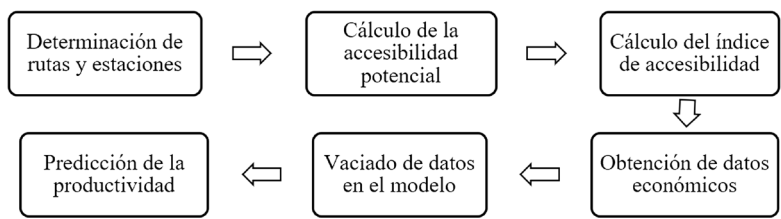
En esta investigación se propuso entender como accesibilidad al potencial de interacción entre los mercados disponibles y la población objetivo de las ciudades enlazadas por algún medio de transporte. Garrocho y Campos-Alanís (2006) explican que los índices de accesibilidad pueden clasificarse en cinco categorías: *i*) de separación espacial, *ii*) de oportunidades acumulativas, *iii*) de interacción espacial, *iv*) de utilidad y *v*) espacio-temporales.

En este trabajo se empleó un indicador de interacción espacial a partir de la accesibilidad potencial y se jerarquizaron los medios de transporte de acuerdo a la cantidad de usuarios que utilizan cada uno de éstos. La forma funcional de la accesibilidad potencial se tomó de Durán-Fernández y Santos (2014b): $A_i = \sum_j (P_j / d_{i,j}^\theta)$, donde, P_j es la población en j en el año de estudio, $d_{i,j}$ es el tiempo de viaje entre las localidades i y j , y θ es la elasticidad del potencial de mercado con respecto a la impedancia. Se consideró adecuada esta forma funcional de la accesibilidad debido a que toma en cuenta la oferta, el tamaño de la población, como factor de atracción, y el tiempo invertido al efectuar el recorrido, como impedancia a la realización del viaje. La ecuación estimada para realizar las regresiones se encuentra disponible mediante solicitud a los autores.

2. Metodología y materiales

A grandes rasgos, el presente trabajo siguió los pasos que se muestran en la figura 1. Este epígrafe, en el mismo orden, explica cómo se obtuvo cada uno de los pasos presentados.

Figura 1
Secuencia de la investigación



Fuente: elaboración propia.

2.1. Determinación de las rutas y estaciones

Se comenzó definiendo las rutas factibles para contar con una LAV, así como los puntos aptos para emplazar sus estaciones. Se retomó la ruta propuesta en Mendoza-Sánchez y Téllez-Gutiérrez (2006), Guadalajara-Ciudad de México-Puebla y se prolongó hasta el Puerto de Veracruz, de acuerdo con Herrera-García y Sánchez-López (2014). Se le aplicó el criterio de Alias (1984), que acota las rutas probables a aquellas que tengan una gran demanda de usuarios, para ello se revisaron los aforos vehiculares de SCT (2018a). Las estaciones intermedias se definieron mediante Gutiérrez-Puebla (2004) y López-Pita (2014), que indican una separación mínima que ronde entre los 100 y 200 kilómetros.

De Herrera-García y Sánchez-López (2014) se obtuvo la distancia ferroviaria entre nodos extremos y se relacionó con su correspondiente distancia carretera, obtenida mediante la SCT (2019); esta distancia total se desagregó, considerando un abatimiento de curvatura⁴ de la carretera a la LAV de manera proporcional para determinar la de los tramos intermedios.

⁴ Las LAV se aproximan a la forma rectilínea en mayor proporción que las carreteras (López-Pita, 2014). Entonces, el factor de abatimiento de curvatura se obtuvo al dividir la distancia ferroviaria de alta velocidad (Herrera-García y Sánchez-López, 2014) entre su correspondiente distancia carretera (SCT, 2019).

2.2. Determinación de los tiempos de viaje

En el modo carretero, la velocidad promedio se obtuvo con base en los datos que se registran en los sitios de Control Velocidades de Punto de la SCT (2014) para dos tipos de vehículos: el automóvil particular y el autobús; estas velocidades fueron medidas por la SCT en campo, con las condiciones variables propias de cada punto de control, entonces, no fueron afectadas por ningún factor de congestión, clima o siniestralidad.

En el caso de TAV se adoptó una velocidad de operación promedio de 240 km/h, que toma en cuenta tanto los tramos favorables en llanuras y zonas deshabitadas como los más severos, en sitios con orografía montañosa o zonas urbanas (Nash, 2015 y Nishijima *et al.*, 2013); estos elementos –existentes en el recorrido de las rutas del presente estudio– se tomaron en cuenta en Herrera-García y Sánchez-López (2014) y se incluyeron las obras necesarias para librarlas y lograr la velocidad proyecto mencionada.

Al dividir la distancia entre su correspondiente velocidad promedio se obtuvieron los tiempos de viaje para cada medio de transporte, organizados en la matriz de impedancia propuesta en Rodrigue *et al.* (2009). El tiempo del autobús y el TAV –de acuerdo con De Rus y Román (2006) y Nash (2015), así como con lo recomendado por las líneas de autobuses que ofrecen el servicio actualmente en las rutas estudiadas (PP, 2019)– se penalizó con el consumido por el acceso y la espera en la terminal del origen, documentación de equipaje y controles de seguridad, así como en el egreso de la terminal destino. Al tiempo del automóvil, de acuerdo a De Rus e Inglada (1993), no se le penalizó con estas demoras.

2.3. Obtención de la población en cada nodo

El tamaño de la población se obtuvo de los censos de población y vivienda (Inegi, 2000 y 2010), proyectando su magnitud al respectivo año. Cuando alguno de los nodos considerados involucró alguna de las zonas metropolitanas definidas por Inegi, se sumó la población de cada municipio constituyente para incluirlo en su respectiva metrópoli. Los lectores interesados pueden solicitar a los autores esta información.

2.4. Obtención de la accesibilidad potencial e índices de accesibilidad

Conocidos los tiempos de recorrido y la cantidad de habitantes en cada localidad, se construyeron las matrices de accesibilidad potencial para

cada una de las rutas (Rodrigue *et al.*, 2009), en las columnas se colocaron los orígenes y en las filas los destinos. Se formó una matriz de accesibilidad potencial para cada ruta, cada modo de transporte y cada año en estudio. Al aplicar la ecuación de la forma funcional descrita en el marco teórico, se obtuvo la accesibilidad potencial para cada par.

La tabla 1 muestra cómo se calculó la accesibilidad potencial para un par origen-destino de corto itinerario; para el caso de los viajes de itinerario completo, el procedimiento es análogo, pero incrementando la cantidad de filas y columnas en el mismo número de nodos considerados. Las casillas en la diagonal principal de la matriz aparecen sin valor debido a que el presente trabajo se enfoca en los viajes entre regiones, por lo que los viajes internos de cada localidad no fueron considerados.

Tabla 1
Modelo matriz de accesibilidad potencial

	D ₁	D ₂
O ₁	0	$\frac{P_{ZMLEÓN,2014}}{d_{GDL-León,auto}^{0.73}}$
O ₂	$\frac{P_{ZMGDL,2014}}{d_{GDL-León,auto}^{0.73}}$	0

Fuente: elaboración propia, con datos de Rodrigue *et al.* (2009).

Para la penalización de los tiempos, en el automóvil se consideró que ésta adquiere el valor de cero (De Rus e Inglada, 1993: 30); en autobús representa 88 minutos y para el TAV 84 minutos por concepto de acceso, espera y egreso en cada par origen-destino. La composición de estos tiempos para el autobús se desagregó de acuerdo con lo que reportaron De Rus y Román (2006), con las cuantías que recomendó PP (2019): 29 minutos para el acceso, 30 minutos para la espera y 29 minutos para el egreso; para el TAV, de acuerdo a De Rus y Román (2006), son 27 minutos en el acceso, 23 en la espera y 34 en el egreso; estos tiempos incluyen, para el origen, la llegada a la terminal/estación, el paso por los dispositivos de seguridad de ese sitio, la documentación de equipaje y la espera por la salida del vehículo; para el destino se consideran la espera por la recolección de equipaje y el recorrido, desde la terminal/estación, hasta el destino de cada usuario.

La accesibilidad potencial se plasmó en dos tipos distintos de tablas donde se resumen, en la primera, el valor para cada par origen-destino de

corto itinerario y, en la segunda, el valor para el par de itinerario completo, es decir, se consideró un viaje directo entre los nodos extremos. El índice de accesibilidad corresponde a la sumatoria de todos los valores en cada una de las celdas en su respectiva matriz de accesibilidad potencial, dividido entre un valor de accesibilidad patrón.

En el presente artículo se consideró como valor patrón a la accesibilidad más alta ofrecida por cualquiera de los medios ofertados, incluyendo el hipotético TAV. Este trabajo estudió la cohesión territorial entre las regiones que fueron enlazadas por la posible línea de alta velocidad, por esto se determinó únicamente el índice de accesibilidad para los viajes de corto itinerario. Entonces, el índice de accesibilidad se plasmó de manera organizada en una única tabla para los viajes entre todos los nodos de la red, haciendo una diferenciación, a partir de este momento, entre los medios realmente ofertados y el hipotético TAV.

Mediante una valoración de la preferencia que manifiestan los usuarios en cada ruta, para los medios realmente ofertados, se realizó una jerarquización entre los medios de transporte terrestre considerados, esta preferencia se determinó en tres pasos: *i)* se investigó el volumen de autos y autobuses registrado en los arcos (SCT, 2017a, 2018a y 2018b); *ii)* se proyectó el volumen obtenido de cada tipo vehicular en cada arco con respecto a los años censales considerados, mediante ecuación de crecimiento geométrico; *iii)* se definió la cantidad de pasajeros que utilizaron cada modo existente multiplicando el número de cada tipo vehicular por su cantidad de ocupantes promedio, de acuerdo con la SCT (2017b).

Para determinar la cantidad de usuarios en el TAV se definieron dos fuentes, desde las cuales provendrían estos viajeros: *i)* la demanda migrante, proveniente de otros medios y *ii)* la demanda inducida, viajeros motivados por la presencia del TAV. Para la primera fuente, se aprovechó la encuesta de preferencias declaradas de Modelística (2014), donde se señala que 17% de los viajeros de auto migrarían al TAV y 8.04% de autobús lo haría; para la segunda fuente se utilizó lo explicado en García-Álvarez (2016) y la experiencia de Fernández-Jáñez (2012), donde, en un escenario conservador, 10% de los usuarios del TAV corresponden a una demanda inducida. La cantidad total de usuarios que viajaron en los medios considerados y en cada año censal se adoptó como valor de referencia para obtener el ponderador con el que participa cada medio; se dividió la cantidad de usuarios de cada medio entre la cantidad total de usuarios que realizan el viaje en cada arco y se obtuvo el ponderador para cada índice de accesibilidad.

2.5. Obtención de los datos económicos y adaptación del modelo

Se usaron los datos del Censo Económico Nacional 2008, 2013 y 2018 (Inegi, 2020); para las zonas metropolitanas se sumó el valor reportado de cada característica económica en los municipios que las conforman. El conjunto de datos es una encuesta exhaustiva que presenta información de todos los municipios para cada unidad económica en el país, desagregada en 20 sectores de actividad económica y en 18 características principales de variables censales.

Una vez definidos los nodos para cada ruta, se depuraron las bases de datos de Inegi para seleccionar aquellos municipios de la hipotética red de alta velocidad donde se localizó una estación, los sectores de actividad económica que son comunes para todos los pares de corto itinerario y las características principales de variables censales que involucran los datos observados necesarios de cada actividad, con el fin de obtener la productividad laboral en un modelo de regresión que usó como variables explicativas la cantidad de trabajadores, el consumo intermedio y el capital de activos fijos (Durán-Fernández y Santos, 2014b). La descripción de estos sectores y características se encuentran a disposición de los lectores interesados, mediante solicitud a los autores.

3. Resultados

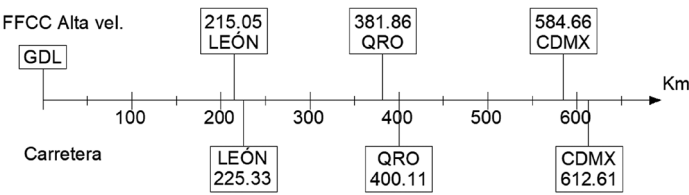
3.1. Las rutas elegidas y sus estaciones intermedias

Se tomó la ruta propuesta en Mendoza-Sánchez y Téllez-Gutiérrez (2006), Guadalajara-Ciudad de México-Puebla, pero se prolongó, de acuerdo con Herrera-García y Sánchez-López (2014), hasta el Puerto de Veracruz. Esta ruta cumplió el criterio de Alias (1984), referente a que cuenta con una alta demanda de usuarios con base en los aforos vehiculares de SCT (2018a). Así se establecieron los pares GDL-CDMX y CDMX-VER por estudiar. A ambos se les aplicó el criterio de Gutiérrez-Puebla (2004) y López-Pita (2014) en cuanto a la separación espacial de las estaciones intermedias.

Para el primero resultó factible evaluar dos opciones de recorrido: una que pase por LPD y otra por LEÓN. Se elaboraron los diagramas unifilares correspondientes, la opción LEÓN se muestra en la figura 2 y la opción que pasa por LPD está disponible bajo demanda a los autores. En ambas opciones resultó factible colocar una estación en la ciudad de Querétaro (QRO).

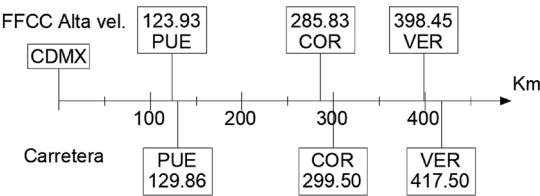
En la ruta GDL-CDMX, pasando por LPD, el trazado de la línea ferroviaria de alta velocidad logró una reducción en la distancia recorrida, respecto a la carretera, de 26.29 km. Tocante a la opción por LEÓN, el ahorro fue de 27.95 km, valor muy similar al anterior.

Figura 2
Diagrama unifilar ruta Guadalajara-Ciudad de México, por León



Fuente: elaboración propia a partir de SCT (2019) y Herrera-García y Sánchez-López (2014).

Figura 3
Diagrama unifilar ruta Ciudad de México-Veracruz

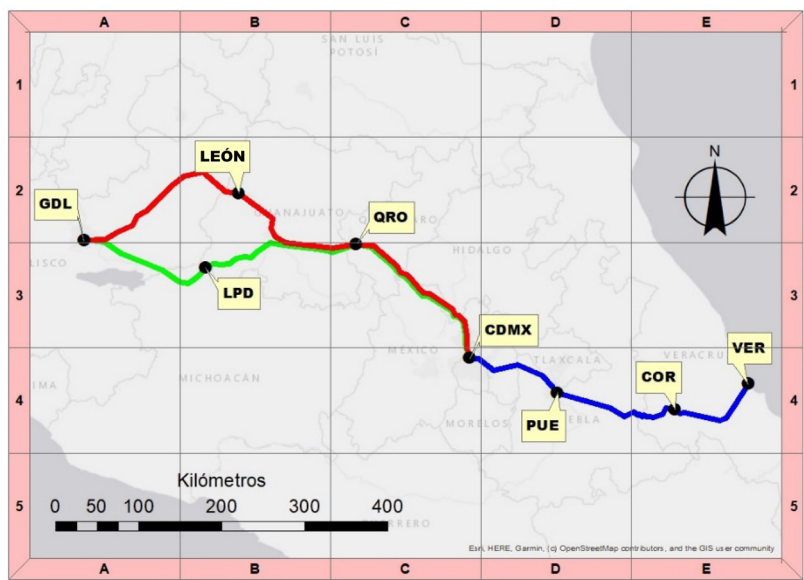


Fuente: elaboración propia a partir de SCT (2019) y Herrera-García y Sánchez-López (2014).

En el segundo par se elaboró el diagrama unifilar de la figura 3, muestra las localidades factibles para contar con estación de TAV: la ciudad de Puebla (PUE) y la ciudad de Córdoba (COR). Esta LAV logró reducir 19.05 km el recorrido carretero; el factor de abatimiento de curvatura alcanzó un valor de 1.048 para las tres rutas, dato que se muestra consistente con lo expuesto por Herrera-García y Sánchez-López (2014).

Mediante el sistema de información geográfico Global Mapper se representó, sobre un mapa del centro de la república mexicana, la traza aproximada para las líneas ferroviarias de alta velocidad y las ciudades en las cuales se propuso localizar estaciones (figura 4). La línea color rojo representa la ruta GDL a CDMX, pasando por LEÓN, y la línea color verde es la opción que pasa por LPD. Ambas opciones confluyen en QRO, previo a llegar a CDMX, ya que entre ambas ciudades el recorrido fue el mismo, pero, para efectos de una mejor visualización, se dibujaron de manera separada. La línea color azul indica la ruta CDMX a VER, así como sus dos estaciones intermedias, una en PUE y otra en COR.

Figura 4
Líneas de alta velocidad propuestas



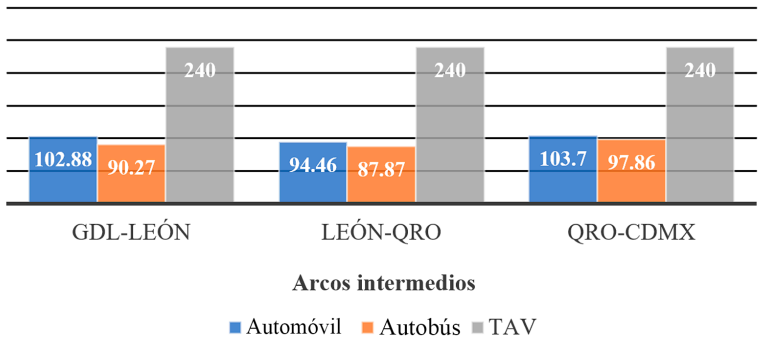
Fuente: elaboración propia a partir de SCT (2019) y Herrera-García y Sánchez-López (2014).

3.2. Los tiempos de viaje y las matrices de impedancia

Con información de SCT (2014) se obtuvieron las velocidades promedio para el automóvil y el autobús; la velocidad promedio para el TAV se adoptó del criterio establecido por Nash (2015) y Nishijima *et al.*, (2013). Las gráficas 1 y 2 muestran, respectivamente, las velocidades de operación promedio para las rutas GDL-CDMX, pasando por LEÓN y CDMX-VER. Las velocidades de la ruta GDL-CDMX, pasando por LPD, están disponibles para los lectores interesados.

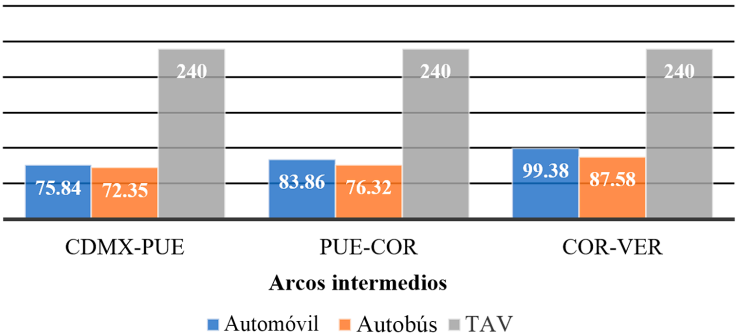
Al conjuntar la información, los tiempos promedio de recorrido entre los pares origen-destino se obtuvieron al dividir las distancias entre las velocidades de cada medio de transporte considerado. Con estos tiempos se formaron las matrices de impedancia en el arreglo matricial de Rodrique *et al.* (2009). Al ser matrices simétricas, se presentan únicamente los valores por debajo de la diagonal de ceros.

Gráfica 1
Velocidad promedio km/h, ruta Guadalajara-Ciudad de México, por León



Fuente: elaboración propia, con datos de SCT (2014), Nash (2015) y Nishijima *et al.* (2013).

Gráfica 2
Velocidad promedio km/h, ruta Ciudad de México-Veracruz



Fuente: elaboración propia, con datos de SCT (2014), Nash (2015) y Nishijima *et al.* (2013).

Tabla 2
Matrices de impedancia

Tiempo de recorrido, ruta GDL-CDMX por León (min)				
GDL	0, 0, 0			
LEÓN	131.41, 149.77, 53.76	0, 0, 0		
QRO	242.43, 269.11, 95.46	111.02, 119.34, 41.7	0, 0, 0	
CDMX	365.38, 399.4, 146.16	235.2, 251.54, 127.76	122.95, 130.29, 50.7	0, 0, 0
	GDL	LEÓN	QRO	CDMX

Tiempo de recorrido, ruta CDMX-VER (min)				
CDMX	0, 0, 0			
PUE	102.74, 107.69, 30.98	0, 0, 0		
COR	224.11, 241.05, 71.46	121.37, 133.36, 40.48	0, 0, 0	
VER	295.35, 321.89, 99.62	192.6, 214.21, 71.46	71.24, 80.84, 28.16	0, 0, 0
	CDMX	PUE	COR	VER

Fuente: elaboración propia a partir de datos de SCT (2014, 2019), Nash (2015), Nishijima *et al.* (2013) y Herrera-García y Sánchez-López (2014).

Los valores en las matrices de impedancia de la tabla 2 representan únicamente el tiempo de recorrido efectivo durante el viaje entre los pares origen-destino. Los tiempos de acceso, espera y egreso se tomaron por separado, al considerarlos en el cálculo de las matrices de accesibilidad como se verá más adelante. Los tiempos de recorrido resultantes se ordenaron en series de tres números, el primero representa el correspondiente al automóvil, el segundo al autobús y el tercero al TAV. La matriz de impedancia para la ruta GDL-CDMX, pasando por LPD, está disponible bajo solicitud a los autores.

3.3. Accesibilidad potencial

Tras la identificación de las matrices de accesibilidad potencial para cada medio y cada año en estudio se realizaron las operaciones aritméticas requeridas para alimentar cada una de éstas, se consideró la penalización a los tiempos descrita en la metodología. Los resultados se ordenaron en

sus respectivas casillas, de acuerdo al arreglo matricial de la tabla 1, y se formaron las matrices correspondientes a cada par.

La matriz de accesibilidad que se muestra en la tabla 3 tiene un valor total de 1939.81, representa la accesibilidad potencial para el par GDL-CDMX por León en 2018 utilizando automóvil y considerando paradas en cada nodo intermedio. Los valores de accesibilidad potencial para todos los arcos se encuentran disponibles para aquellos lectores interesados, mediante solicitud a los autores. Se aplicó este procedimiento a cada uno de los arcos, primero en corto itinerario, considerando paradas en todos los nodos, y posteriormente en itinerario completo, considerando viajes directos entre los nodos extremos de cada ruta; los resultados de la sumatoria de cada matriz de accesibilidad potencial, para cada medio de transporte en cada año de estudio, se resumió de manera ordenada en tablas donde se incluyeron los medios actuales y el propuesto TAV.

Tabla 3
Matriz de accesibilidad potencial, en automóvil,
Guadalajara-Ciudad de México, por León, 2018

	<i>GDL</i>	<i>LEÓN</i>	<i>QRO</i>	<i>CDMX</i>
<i>GDL</i>		61.51	26.48	290.68
<i>LEÓN</i>	149.69		46.83	400.93
<i>QRO</i>	95.73	69.57		643.75
<i>CDMX</i>	70.96	40.22	43.46	

Fuente: elaboración propia a partir de datos de SCT (2014, 2019), Nash (2015), Nishijima *et al.* (2013) y Herrera-García y Sánchez-López (2014).

Respecto a la ruta GDL-CDMX, la accesibilidad potencial para el arco GDL-LEÓN fue 46% más alta a la que se obtuvo para el GDL-LPD en automóvil, alrededor de 41% mayor en autobús y 28% superior con el TAV. Los valores del arco LEÓN-QRO, respecto a los del LPD-QRO, son superiores en una media de 166%, en automóvil; rondan 153% en autobús y un aproximado de 140% con el TAV.

Cada año en estudio registró variaciones porcentuales al comparar la accesibilidad potencial de un mismo medio de transporte debido a los cambios en la cantidad de habitantes; para la tercera línea que enlaza el par CDMX-VER se observó que el arco CDMX-PUE presentó mayor accesibilidad potencial respecto a los otros dos arcos, esto se debió a la gran concentración poblacional en las zonas metropolitanas de las ciudades de México y Puebla. Resultó notorio cómo la accesibilidad potencial va decreciendo conforme el viaje se aleja del nodo CDMX, mientras que

para la ruta GDL-CDMX, en sus dos opciones de recorrido, los nodos extremos adquirieron un valor más alto de accesibilidad potencial, respecto al intermedio.

En lo que respecta a los viajes de itinerario completo, los valores de accesibilidad potencial se ordenaron y resumieron en la tabla 4; en lo que atañe a la accesibilidad potencial destacó el hecho de que, tanto en viajes de corto itinerario como de itinerario completo, se obtuvo que los pares QRO-CDMX y CDMX-PUE resultaron con los valores más altos, situación natural debido a la cantidad de población concentrada en los tres nodos. No obstante, la tabla con los datos de la accesibilidad potencial para los viajes de itinerario completo sólo se utilizó para seleccionar el valor patrón de accesibilidad, éste correspondió a la accesibilidad ofrecida por el hipotético TAV en el par GDL-CDMX, pasando por León, para el 2018. A partir de éste, se obtuvieron los índices de accesibilidad en los arcos de corto itinerario para cada ruta, dividiendo las correspondientes accesibilidades potenciales entre el valor patrón.

Los índices de accesibilidad son crecientes conforme avanza el tiempo para las rutas que se investigaron. En pares y medios de transporte, el LPD-QRO presentó los índices menores en los tres medios de transporte, seguido por el GDL-LPD y, en el QRO-CDMX, hubo un incremento considerable. Se compararon los índices de accesibilidad del TAV respecto a los del automóvil, destacó que éstos fueron menores en el par QRO-CDMX, muy similares en el GDL-LPD y ligeramente superiores en el LPD-QRO.

Resultados similares se obtuvieron para la opción de esta ruta por León, en la cual se observó, además, que los índices de accesibilidad para los arcos intermedios LEÓN-QRO y GDL-LEÓN fueron mayores a los análogos de la primera alternativa. La magnitud de estos índices se graficó y la información se encuentra disponible a los lectores interesados, bajo solicitud a los autores.

Respecto a los arcos intermedios a la ruta CDMX-VER, es notorio cómo el par CDMX-PUE reportó valores muy altos respecto a los otros dos arcos, inclusive mayores que los obtenidos para el arco QRO-CDMX, previamente descrito. Para los arcos intermedios PUE-COR y COR-VER, los índices de accesibilidad son pequeños, inclusive menores que los emanados de los intermedios en la ruta GDL-CDMX, en sus dos alternativas.

El par de nodos en cuyas zonas metropolitanas se cuantificó gran cantidad de habitantes, CDMX y PUE, alcanzaron un índice de accesibilidad en automóvil mayor al del TAV, para los tres años estudiados. Sin embargo, este último medio logró índices de accesibilidad mayores al autobús y al automóvil en los pares COR-VER y PUE-COR.

Tabla 4
Accesibilidad potencial, viajes de itinerario completo

		<i>GDL-CDMX por LPD</i>	<i>GDL-CDMX por LEÓN</i>	<i>CDMX-VER</i>
2008	Automóvil	1510.54	1696.02	1638.97
	Autobús	1096.52	1212.27	1130.23
	TAV	1777.54	1827.08	1829.50
2013	Automóvil	1606.38	1812.67	1719.59
	Autobús	1165.94	1294.77	1185.54
	TAV	1891.37	1952.22	1918.70
2018	Automóvil	1710.17	1939.79	1804.34
	Autobús	1241.09	1384.58	1243.67
	TAV	2014.69	2088.51	2012.42

Nota: algunos decimales pueden variar por efecto del redondeo de las cifras significativas.
Fuente: elaboración propia.

A continuación, se asignó la jerarquía correspondiente a cada índice de accesibilidad, ésta se basó en la cantidad de usuarios que realizaron el viaje en cada uno de los arcos utilizando los dos medios realmente disponibles y el TAV propuesto en los años censales estudiados. La magnitud de la jerarquía se materializó en forma de ponderador, que afectó a su respectivo índice de accesibilidad. Para ello se consideraron dos escenarios: el primero representó la situación real, abarcando los medios de transporte existentes: automóvil y autobús; y el segundo configuró la situación propuesta, que consideró al TAV en la oferta de transporte.

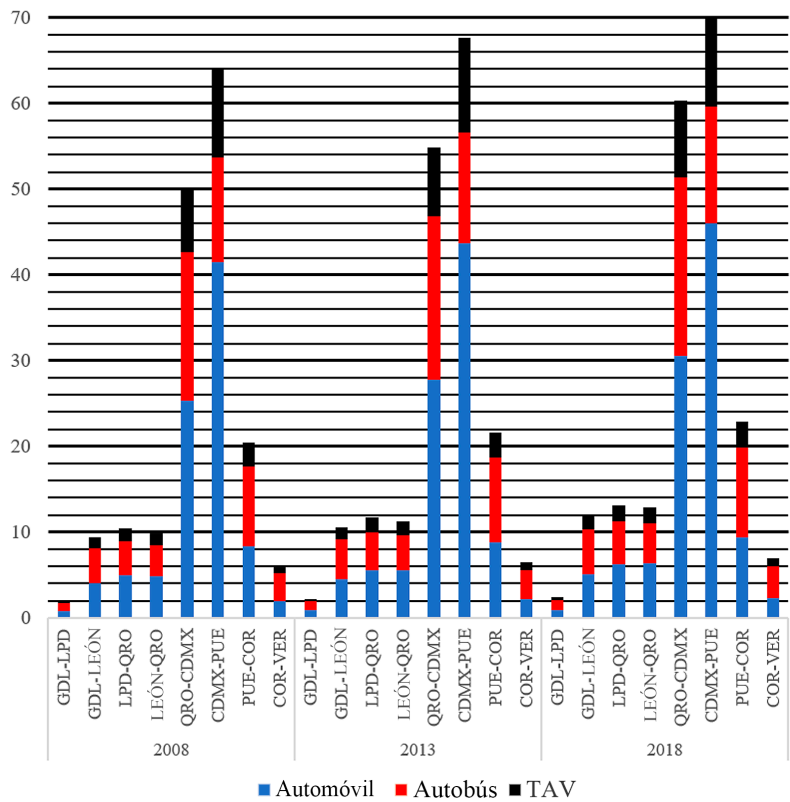
En el primer escenario, con datos de SCT (2017a, 2018a y 2018b), se obtuvo la cantidad de vehículos y su tipología, se multiplicó por el número de usuarios promedio correspondientes (SCT, 2017b) y se proyectó a cada año censal; la cantidad de usuarios en este escenario está disponible para quienes lo soliciten a los autores.

Se observó que la cantidad de usuarios es creciente en el tiempo, independientemente del medio elegido, y que los pares QRO-CDMX y CDMX-PUE presentan la mayor sumatoria de viajeros; por ejemplo, para el 2018, con poco más de 59 millones para el primero y poco más de 70 millones para el segundo. De este total, en el par QRO-CDMX, 36.8 millones eligieron el automóvil y 22.7 millones el autobús. En el par CDMX-PUE, 55.5 millones utilizaron el automóvil y 14.7 millones el autobús. El arco que menor cantidad de usuarios reportó fue el GDL-LPD, en los tres años considerados. Por ejemplo, en el 2018, se presentó

un valor ligeramente mayor a los 2.4 millones de viajeros, desagregados equilibradamente: 1.13 optaron por el automóvil y 1.28 por el autobús.

En el segundo escenario, que incluyó al TAV, la cantidad de usuarios se obtuvo sumando la demanda de los viajeros que migraron hacia este medio de transporte más la cantidad de viajeros inducidos. Entonces, con base en el primer escenario, se hizo la gráfica 3, que resume las cantidades de pasajeros que se movilizaron en los tres medios de transporte.

Gráfica 3
Cantidad de usuarios (millones), medios existentes y TAV



Fuente: elaboración propia a partir de datos de SCT (2017a, 2017b, 2018a y 2018b).

El número de viajeros que utilizaron el TAV para cada año en estudio se obtuvo mediante los porcentajes de migración y de inducción descritos en la metodología. En el 2018, el de mayor tráfico, los arcos con mayor demanda arrojaron que, para el caso del QRO-CDMX, 8.89 millones de pasajeros utilizarían el TAV, mientras que en el CDMX-PUE, esta can-

tidad llegó a los 11.68 millones. Para el primer arco se observó que la cantidad total de usuarios subió a un valor que superó los 60 millones, y en el segundo superó los 71 millones. El diferencial de usuarios totales se debe a la demanda que fue inducida por la existencia del TAV en la oferta del transporte.

Por otro lado, el arco con menor demanda fue GDL-LPD, fue poco significativo el aporte de los usuarios atraídos por el TAV respecto al total de viajes realizados; el total se incrementó en 30 mil usuarios llegando a 2.45 millones de pasajeros en los tres medios, para el segundo escenario. Los ponderadores para cada medio se obtuvieron con base en la cantidad de personas que hacen uso de éstos, la referencia fue la cantidad total que usaron cualquiera de los medios actuales y se desagregaron en dos escenarios: el primero para los medios de transporte realmente ofertados y el segundo con el TAV.

3.4. Índices de accesibilidad

En el par GDL-CDMX, los ponderados para el arco QRO-CDMX resultaron idénticos en ambas opciones de recorrido, esto resulta congruente ya que ambas alternativas confluyen en QRO y, a partir de ahí, se tomó un único camino hacia CDMX. De nueva cuenta, en las tres rutas, los arcos que contienen a la Ciudad de México presentan valores altos con respecto a los obtenidos en cualquier otro de los arcos. La suma de los índices de accesibilidad ponderados para el escenario actual se utilizó para estimar la productividad predicha en el análisis de regresión; los valores pueden ser consultados mediante solicitud de la información a los autores.

Se elaboraron cuatro ecuaciones: una para la totalidad de la red, considerando las tres rutas y sus ocho nodos; dos para la ruta GDL-CDMX, una para cada alternativa de recorrido, con cuatro nodos en cada opción; y una para la ruta CDMX-VER, con sus cuatro nodos. Los índices de accesibilidad ponderados que contienen la inclusión del TAV se alimentaron posteriormente y, para cada ecuación, se compararon las diferencias en la productividad predicha.

Los índices de accesibilidad ponderados, incluyendo el TAV, se plasmaron en la tabla 5. Para la ruta GDL-CDMX se muestra la opción por LEÓN; la información de la alternativa por LPD está disponible bajo solicitud a los autores. Una vez más, los valores para el arco QRO-CDMX en ambas opciones resultaron idénticos; en general, los resultados en la alternativa que pasa por León son más altos que los obtenidos en la opción por La Piedad; la cantidad de habitantes fue el factor que justificó estos efectos: el nodo de la Zona Metropolitana de León reportó una población mayor a la del nodo de La Piedad.

Asimismo, en la tabla 5 se sintetizó el índice de accesibilidad ponderado para cada arco en la ruta CDMX-VER con el TAV; los incrementos en los valores para este índice en el escenario propuesto no resultaron muy notorios con respecto a los del primero, incluso, en el arco COR-VER, la suma arrojó el mismo valor en ambos casos; esta situación se explicó por la baja demanda en este arco.

En los escenarios propuestos, exceptuando el arco COR-VER, por lo previamente explicado, se observó una disminución en el valor que se reportó para el automóvil y el autobús respecto al escenario verdadero. Esto se explica por el hecho de que, una vez que se incluyó al TAV en la gama de servicios, hubo que restar a los medios existentes la cantidad de personas que migraron al nuevo medio. Se interpretó que la jerarquía del automóvil y el autobús disminuyó para dar cabida al TAV dentro de la oferta. Además, se consideró dentro del índice de accesibilidad ponderado para el TAV a la demanda inducida, cuya cantidad de usuarios, al no existir en el primer escenario, no se contabilizó para los medios existentes. Esto pudo interpretarse como la importancia que representó esta nueva cuantía de viajeros, para que el TAV ganara jerarquía en el presente estudio.

Tabla 5
Índice de accesibilidad ponderado, medios existentes y TAV

<i>Año</i>	<i>Medio</i>	<i>GDL- LEÓN</i>	<i>LEÓN- QRO</i>	<i>QRO- CDMX</i>	<i>CDMX- PUE</i>	<i>PUE- COR</i>	<i>COR- VER</i>
2008	Automóvil	0.034	0.022	0.153	0.238	0.016	0.005
	Autobús	0.023	0.010	0.069	0.044	0.012	0.004
	TAV	0.011	0.006	0.042	0.056	0.005	0.001
	Suma	0.068	0.038	0.264	0.338	0.033	0.010
2013	Automóvil	0.039	0.025	0.161	0.249	0.017	0.006
	Autobús	0.026	0.011	0.072	0.046	0.012	0.005
	TAV	0.012	0.007	0.044	0.058	0.006	0.002
	Suma	0.077	0.043	0.277	0.353	0.035	0.013
2018	Automóvil	0.043	0.028	0.169	0.261	0.018	0.006
	Autobús	0.029	0.013	0.076	0.048	0.013	0.005
	TAV	0.014	0.008	0.046	0.061	0.006	0.002
	Suma	0.086	0.049	0.291	0.370	0.037	0.013

Fuente: elaboración propia.

3.5. *Análisis de regresión*

Las regresiones, disponibles mediante solicitud a los autores, se realizaron utilizando el método de mínimos cuadrados. La estimación buscó predecir la productividad laboral usando como variables explicativas el uso de insumos (consumo intermedio por trabajador) y la intensidad de capital (activos fijos por trabajador); además, se utilizó una variable dicotómica para aislar el efecto atípico de la presencia del sector 52 de servicios financieros en la productividad promedio. La principal variable explicativa del estudio es la accesibilidad. La inclusión de la accesibilidad a la ecuación tuvo un efecto significativo y aumentó tanto la capacidad explicativa como la precisión con la que se estiman los coeficientes de las otras variables.

En la estimación, el sector 52, representado por la variable X_3 , obtuvo un coeficiente de 0.84, lo cual puede interpretarse como que el sector 52 tiene 2.32 veces más productividad que el resto de los sectores económicos entre los pares origen-destino estudiados; este valor, de acuerdo a Giles (2011), se obtuvo de efectuar la operación inversa al logaritmo natural existente en el modelo, para la variable en cuestión, es decir: $e^{\beta_3} = e^{0.84}$. Para esta primera regresión, al tratarse de una regresión lineal múltiple, el valor del R^2 ajustado mostró que el modelo explica 67% de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media; además, los valores de P cercanos a cero, para las tres variables independientes consideradas, indicaron que las variaciones de éstas muy probablemente representarán adiciones o disminuciones significativas en el modelo.

Tabla 6
Análisis de regresión para toda la red

	<i>Sin restricción de accesibilidad</i>	<i>Con restricción de accesibilidad</i>
Constante	4.49*** (0.350) 0.000	4.55*** (0.350) 0.000
Log de consumo por trabajador	0.41*** (0.037) 0.000	0.40*** (0.037) 0.000
Log de capital por trabajador	0.22*** (0.036) 0.000	0.23*** (0.036) 0.000

Tabla 6 (continuación)

	<i>Sin restricción de accesibilidad</i>	<i>Con restricción de accesibilidad</i>
Dicotomía	0.84*** (0.091) 0.000	0.85*** (0.091) 0.000
Accesibilidad	— — —	0.0327* 0.42 (0.195)
Observaciones	312	312
R-cuadrada	0.671	0.676
R² ajustada	0.668	0.672

Nota: variable dependiente: Log de productividad laboral. En cada celda, de arriba hacia abajo: el coeficiente estimado, el error estándar y la significancia. Las 312 observaciones resultan de los 8 pares origen-destino, por 13 sectores, en tres años censales. Los sectores que se incluye en el análisis tienen claves 23, 31, 43, 46, 48, 52, 53, 54, 56, 61, 62, 72, 81 (Inegi, 2020), la significancia se representó como: *** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.1$.

Fuente: elaboración propia.

En la segunda versión del modelo (columna derecha, tabla 6) se consideraron las mismas variables que en la primera, al mismo tiempo que se incluyó la variable independiente de accesibilidad X_4 . El propósito de esta regresión fue evaluar la funcionalidad del modelo y mostrar qué tan precisamente se explicó la relación entre las variables, dado el caso de que se optase por analizar la red en su totalidad.

Para la segunda regresión, se notó que la inclusión de la variable de accesibilidad no modificó sustancialmente los valores para los coeficientes de las otras variables independientes. El valor del R^2 ajustado reveló que el modelo explica 67% de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media; los valores de P cercanos a cero, para las tres primeras variables independientes, revelaron interpretaciones muy similares a las que se obtuvieron en la primera regresión.

Respecto a X_4 , que representa el índice de accesibilidad ponderado, destacó el hecho de que su valor de probabilidad P resultó mucho mayor al de las otras tres variables independientes, pero sin llegar a menospreciar su significancia; es decir, los cambios en las variables independientes del consumo por trabajador y el capital fijo por trabajador, muy probablemente, representarán mayores adiciones o disminuciones en el valor predicho del modelo que aquellas aportadas por los cambios en la variable independiente del índice de accesibilidad ponderado. Esta situación

se cotejó con las regresiones donde se evaluaron los pares origen-destino en cada una de sus líneas individuales.

3.6. La productividad predicha y la cohesión territorial

De cada modelo resultante en su respectiva regresión, primero para la red en su totalidad, cuyos coeficientes de la evaluación se mostraron en la tabla 6, y posteriormente para cada línea ferroviaria de alta velocidad en lo individual –cuyos resultados se encuentran disponibles bajo petición a los autores– se obtuvo el valor predicho de la productividad por cada ruta estudiada en los años censales 2008 y 2018.

Se comparó el valor que adquiere esta productividad al evaluar cada uno de los modelos en dos escenarios: *i)* con la oferta de transporte para pasajeros existente y *ii)* enriqueciendo esta oferta con el TAV. Al realizar esta comparativa, se consideró que los incrementos en la productividad acarrearán crecimiento económico y, de acuerdo con el criterio de Sala-i-Martin (1996), a mayor crecimiento económico sobrevendrá una mayor cohesión territorial entre las regiones enlazadas.

Bajo este criterio, en la evaluación de los valores predichos, los valores reportados por Inegi (2020) de cada característica económica, correspondientes a las variables independientes del modelo, se sumaron por cada par de nodos en estudio; de esta manera, se enlazó el *personal ocupado*, el *consumo intermedio* y el *acervo de activos fijos*, obteniendo un valor único en cada una de estas características por arco. Al sustituir los valores correspondientes de cada variable independiente se obtuvieron los resultados contenidos en la tabla 7, en la cual se muestran los valores de la productividad predicha en el escenario con los medios de transporte existentes y en aquel donde se incluyó al TAV.

Tabla 7
Productividad predicha y variación en la cohesión territorial,
toda la red, 2008-2018

<i>Productividad laboral</i> (Miles MXN)	<i>GDL-CDMX</i> (LPD)	<i>GDL-CDMX</i> (León)	<i>CDMX-VER</i>
[A] Sin TAV, 2008	8675.02	8792.67	8410.61
[B] Sin TAV, 2018	11,546.83	11,493.01	11,346.99
[C] Con TAV, 2018	11,562.09	11,506.75	11,355.91
Variación en la cohesión = (C-B) /A	0.18%	0.16%	0.11%
Tasa decenal de cohesión	1.76%	1.56%	1.06%

Fuente: elaboración propia.

Tomando como año base al 2008, se observó que, sin considerar al TAV en la oferta de transporte, tras diez años, es predecible un incremento en la productividad debido al propio crecimiento de las características económicas involucradas en los arcos que conforman la totalidad de cada ruta. Sin embargo, con la inclusión del TAV, el incremento en la productividad resultó mayor. La diferencia de la productividad en el escenario con TAV menos la del escenario sin TAV, porcentualmente respecto al año base, arrojó como resultado la variación en la cohesión territorial lograda en cada itinerario, fue la ruta GDL-CDMX, en su alternativa que pasa por La Piedad, la que reportó mayor incremento en este parámetro.

En un ejercicio disponible bajo demanda a los autores, se evaluó, con la finalidad de probar la consistencia del modelo, el decenio censal inmediato anterior al reportado en la tabla 7; las tasas decenales de cohesión reportadas se mantuvieron relativamente constantes, ya sea si se estiman para el periodo 2003-2013 o 2008-2018. La estimación de la tasa para la ruta CDMX-VER prácticamente no tuvo cambio y las tasas para GDL-CDMX vía La Piedad o León se redujeron cada una cuatro décimas de punto porcentual.

Conclusiones

La accesibilidad es la variable clave para estimar la productividad territorial que habría en caso de existir un TAV. Para calcular el efecto sobre la productividad que habría en presencia de éste se calcularon dos cifras de accesibilidad: la primera corresponde a las condiciones actuales sin TAV y la segunda cifra es un contrafactual que estima la accesibilidad suponiendo su existencia. Para deducir el impacto en la productividad territorial, derivado de la LAV, se compararon las ecuaciones estimadas con y sin variable de accesibilidad. En términos generales, la accesibilidad es un indicador que sintetiza la distribución espacial de la población, la distancia entre las localidades y los tiempos aproximados de viaje. En ese sentido, un cambio en la accesibilidad, dada la existencia de la LAV, permitiría cuantificar cambios en la cohesión territorial y, en consecuencia, las variaciones que ello tendría en la productividad.

El recorrido total para los medios que circulan por carretera en el par GDL-CDMX es de 576.19 km, en la opción que pasa por La Piedad, y de 612.61 km, en la alternativa por León. Para la LAV estas distancias son de 549.90 y 584.66 km, respectivamente. En el par CDMX-VER, el recorrido carretero es de 417.50 km, mientras que de 398.45 km para el del TAV. En el itinerario desde GDL hasta la CDMX se encontró factible colocar una estación intermedia en LEÓN y otra en QRO. De manera

alterna, usando otra ruta, se podría emplazar una estación intermedia en LPD. Bajo esta misma pauta, en el itinerario rumbo al Oriente, de CDMX a VER, resulta viable situar una estación intermedia en PUE y otra en COR.

Al tomar a 2008 como año de referencia, en el cual el TAV aún no estaría en operación, se valoraron los incrementos en los parámetros económicos diez años después con y sin oferta del TAV. En cada caso, la productividad resultó positivamente incrementada, gracias a la presencia del TAV, lo que acarrearía un aumento en la cohesión interregional.

En el análisis de la red que engloba a las tres rutas, el itinerario GDL-CDMX arrojó valores de productividad muy similares en sus dos opciones de recorrido. En el 2018 ésta se incrementa entre 13,740 y 15,260 pesos por trabajador, con la presencia del TAV, pasando por La Piedad y por León, respectivamente. Esto representa una tasa decenal de crecimiento en la cohesión interregional de 1.76% y 1.56%, de manera correspondiente.

Dado el caso de que alguna de estas líneas se construya de manera aislada (cuyo análisis está disponible bajo solicitud a los autores), los resultados para el itinerario GDL-CDMX, en su opción por La Piedad, arrojan que la productividad en el 2018 se incrementa en 15,910 pesos por trabajador, significando una tasa decenal de 2.11% en la cohesión interregional. En la opción por León, la productividad se incrementó en 18,310 pesos por trabajador, y la cohesión interregional a razón de 2.22% en el decenio, gracias a la inclusión del TAV. En el itinerario CDMX-VER, la inclusión del TAV, en el análisis de una ruta aislada, incrementó la productividad en 5820 pesos por trabajador para el 2018, lo que representó un aumento en la cohesión territorial de 0.85% en diez años.

En el análisis de la red que integra a las tres rutas, el incremento en la productividad alcanzó 8920 pesos por trabajador, que aumentó en 1.06% la cohesión territorial. Las tasas decenales de cohesión, un decenio anterior al aquí reportado, resultaron con diferencias mínimas debido a que los valores observados modifican los coeficientes del modelo, para la totalidad de la red: entre 0.08% y 0.40%, y para las líneas individuales entre -0.20% y 0.24%, de esta manera se manifestó la estabilidad del modelo.

El TAV logra su tracción mediante energía eléctrica obtenida en fuentes estacionarias, a diferencia de los vehículos automotores del modo carretero, que la obtienen mayoritariamente de la combustión de hidrocarburos en sus propios motores. Si bien es un tópico que no se analizó en el presente trabajo, el uso de combustibles para generar energía es un tema de discusión obligado al tratar sobre nuevos modos de transporte. Una línea de investigación futura está en curso, en ella se exploran las externalidades que sobre el consumo energético y la emisión de gases efecto

invernadero acarrearía la inclusión del TAV en los corredores de transporte considerados en el presente trabajo.

Hay diversas limitaciones que podrían señalarse. Una de ellas consiste en la sencillez del análisis realizado. Por ejemplo, no se usó econometría espacial para controlar la correlación entre los municipios. Además, el desglose de actividades sectoriales se mantuvo en un número reducido. Tampoco se incorporó al análisis de distintos rangos de tamaño de empresa. Estas y otras características usadas en las regresiones pudieron provocar estimaciones ineficientes. Sin embargo, en el presente trabajo fue significativo haber podido detectar un aumento de la productividad, aún con instrumentos estadísticos básicos. Se considera que con una aproximación estadística más rigurosa se podrían lograr parámetros más eficientes, sin que ello modifique cualitativamente los hallazgos que se reportaron.

Fuentes consultadas

- Alias, Jean (1984), *La voie ferrée: techniques de construction et d'entretien*, París, Editions Eyrolles-S.C.N.F.
- Ben-Akiva, Moshe y Lerman, Steven R. (1979), "Dissagregate travel and mobility-choice models and measures of accessibility", en David A. Hensher y Peter Stopher (eds.) *Behavioural travel modelling*, Londres, Routledge, pp. 654-679.
- Cabeza-Morales, Israel y Gutiérrez-Rey, Franz (2015), "Cohesión territorial: de los alcances a la conceptualización", *Revista geográfica venezolana*, 56 (2), Bogotá, Universidad de Los Andes, pp. 1-11.
- Chen, Yun y Wei, Lijia (2018), "Railroad development, temporal-spatial externalities, and growth spillover: theory and empirical evidence", *Journal of Regional Science*, 58 (5), Wuhan, Wiley, pp. 980-1002, doi: 10.1111/jors.12407
- De Rus, Gines e Inglada, Vicente (1993), "Análisis coste-beneficio del tren de alta velocidad en España", *Revista de Economía Aplicada*, 1 (3), Zaragoza, Universidad de Zaragoza, pp. 27-48.
- De Rus, Ginés y Román, Concepción (2006), "Análisis económico de la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona", *Revista de Economía Aplicada*, 14 (42), Zaragoza, Universidad de Zaragoza, pp. 35-79.

- Durán-Fernández, Roberto y Santos, Georgina (2014a), "A regional model of road accessibility in Mexico: accessibility surfaces and robustness analysis", *Research in Transportation Economics*, núm. 46, Greenwich, JAI Press, pp. 55-69, doi: 10.1016/j.retrec.2014.09.02
- Durán-Fernández, Roberto y Santos, Georgina (2014b), "Road infrastructure spillovers on the manufacturing sector in Mexico", *Research in Transportation Economics*, núm. 46, Ámsterdam, Elsevier, pp. 17-21, doi: 10.1016/j.retrec.2014.09.02
- Fernández-Jáñez, Judith (2012), "Análisis de los datos de tráfico del primer año de explotación de la línea de alta velocidad de Madrid a Valencia", 360. *Revista de alta velocidad*, núm. 2, Madrid, Fundación de los Ferrocarriles Españoles, pp. 57-71.
- García-Álvarez, Alberto (2016), *La demanda en el transporte de viajeros. Generación, evolución y reparto modal*, Madrid, Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- Garrocho, Carlos, Campos-Alanís, Juan (2006), "Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación", *Economía, Sociedad y Territorio*, 6 (22), Zinacantepec, El Colegio Mexiquense, pp. 349-397.
- Giles, Dave (2011), "Dummies for Dummies", Dave Giles Blog, Ontario, <<https://acortar.link/HQpkBi>>, 24 de marzo de 2020.
- Goodall, Brian (1987), *The penguin dictionary of Human Geography*, Londres, Penguin Books.
- Gutiérrez-Puebla, Javier (2004), "El tren de alta velocidad y sus efectos espaciales", *Investigaciones Regionales*, núm. 5, Barcelona, Asociación Española de Ciencia Regional, pp. 199-221.
- Hansen, Walter G. (1959), "How accessibility shapes land use", *Journals of the American Institute of Planners*, 25 (2), Londres, Taylor & Francis, pp. 73-76.
- Herrera-García, Alfonso y Sánchez-López, Orlando (2014), "Estimación del potencial de los trenes de media y alta velocidad en México con base en la demanda de pasajeros aéreos", *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16 (2), Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Ingeniería, pp. 265-277.

- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2020), “Censos económicos 2003, 2008, 2013 y 2018”, Aguascalientes, Inegi, <<https://acortar.link/KwWeaX>>, 15 de marzo de 2020.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2010), “Censo de Población y Vivienda 2010”, Aguascalientes, Inegi, <<https://acortar.link/XWqcwX>>, 6 de marzo de 2020.
- Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2000), “XII Censo General de Población y Vivienda 2000”, Aguascalientes, Inegi, <<https://acortar.link/RwLIN7>>, 6 de marzo de 2020.
- Johnston, Ron John; Gregory, Dereck; Pratt, Geraldine y Watts, Michael (2000), *The dictionary of Human Geography*, Hoboken, Wiley-Blackwell.
- López-Pita, Andrés (2014), *Líneas de ferrocarril de alta velocidad: planificación, construcción y explotación*, Madrid, Garceta Grupo Editorial.
- Márquez Ortiz, Luis Enrique; Cuétara Sánchez, Leonardo Manuel; Catay Angulo, Rafael Cecilio y Labarca Ferrer, Nelson José (2020), “Desarrollo y crecimiento económico: análisis teórico desde un enfoque cuantitativo”, *Revista de Ciencias Sociales (RCS)*, 26 (1), San José, Universidad de Costa Rica, pp. 233-253.
- Méndoza-Sánchez, Juan Fernando y Téllez-Gutiérrez, Rodolfo (2006), “Trenes de alta velocidad en el mundo y su posible utilización en México”, ponencia presentada en la XVI Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres, 26, 27, 28 y 29 de julio de 2006, Boca del Río, en Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres (coord.), *Las Vías Terrestres en el Marco de la Globalización*, Boca del Río, Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, pp. 1-22.
- Modelistica (2014), “Estudio de demanda para el TAV México-Querétaro”, Ciudad de México, PROINTEC.
- Nash, Chris (2015), “When to invest in high speed rail”, *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 1 (5), Ámsterdam, Elsevier, pp. 12-22.
- Nishijima, Shigehiro; Eckroad, Steven; Marian, Adela; Choi, Kyengondal; Seok-Kim, Woo; Terai, Motoaki; Deng, Zigang; Zheng, Jun;

Wang, Jiasu; Umemoto, Katsuya; Du, Jia; Febvre, Pascal; Keenan, Shane; Mukhanov, Oleg; D-Cooley, Lance; P-Foley, Cathy; V-Hasenzahl, William e Izumi, Mitsuru (2013), "Superconductivity and the environment: a roadmap", *Superconductor science and technology*, 26 (11), Bristol, IOP Publishing, pp. 4-33.

PP (Primera Plus) (2019), "Consulta de horarios y compra de boletos", León, Primera Plus, <<https://acortar.link/9HBfpo>>, 21 de mayo de 2019.

Preston, John y Rajé, Fiona (2007), "Accessibility, mobility and transport-related social exclusion", *Journal of Transport Geography*, 15 (3), Ámsterdam, Elsevier, pp. 151-160.

Ramos Melero, Rodolfo y Sanz-Magallón Rezusta, Gonzalo (2012), "Alta velocidad ¿Oportunidad o amenaza para las ciudades pequeñas?", 360. *Revista de Alta Velocidad*, núm. 2, Madrid, Fundación de los Ferrocarriles Españoles, pp. 45-52.

Rodrigue, Jean-Paul; Comtois, Claude y Slack, Brian (2009), *The geography of transport systems*, Sidney, Routledge.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) (2019), "Traza tu ruta", Ciudad de México, SCT, <<https://acortar.link/yAFyL>>, 5 de abril de 2019.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) (2018a), "Volúmenes de tránsito registrados en las estaciones permanentes de conteo de vehículos", Ciudad de México, SCT/Dirección General de Servicios Técnicos.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) (2018b), "Aforos vehiculares Veracruz", Ciudad de México, SCT/Dirección General de Servicios Técnicos.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) (2017a), "Aforos vehiculares Puebla", Ciudad de México, SCT/Dirección General de Servicios Técnicos.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) (2017b), "Estudio de origen, destino y peso", Ciudad de México, SCT, <<https://acortar.link/eoPbyt>>, 20 de abril de 2019.

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) (2014), “Velocidades de punto”, Ciudad de México, SCT/Dirección General de Servicios Técnicos.

Sala-i-Martin, Xavier X. (1996), “Regional cohesion: evidence and theories of regional growth and convergence”, *European Economic Review*, 40 (6), Ámsterdam, Elsevier, pp. 1325-1352.

Spiekermann, Kai, Wegener, Michael (1994), “The shrinking continent: new time-space maps of Europe”, *Environment and planning B: Planning and Design*, 21 (6), Londres, University College, pp. 653-673.

Vickerman, Roger (2015), “High-speed rail and regional development: the case of intermediate stations”, *Journal of Transport Geography*, núm. 42, Ámsterdam, Elsevier, pp. 157-165.

Recibido: 8 de junio de 2020.

Reenviado: 8 de junio de 2021.

Aceptado: 28 de junio de 2021.

José Antonio Guerrero Fernández. Ingeniero civil por la Universidad de Guanajuato, candidato a maestro en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad por la Universidad Autónoma de Querétaro. Actualmente es gerente del Departamento de Construcción y Proyectos de Grupo LET, que se dedica al proyecto, construcción y mantenimiento de vías ferroviarias en todo el territorio mexicano. Su línea de investigación actual son las vías terrestres y el transporte.

Enrique Leonardo Kato-Vidal. Doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Autónoma Metropolitana de México. Actualmente es profesor-investigador en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Querétaro, además es líder del Cuerpo Académico Consolidado de Innovación y Cultura y miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel I. Su línea de investigación actual es la macroeconomía y la innovación. Entre sus publicaciones más recientes se encuentran: como coautor, “Productividad e innovación en pequeñas y medianas empresas”, *Estudios Gerenciales*, 35 (150), Cali, Universidad ICESI, pp. 38-46 (2019); “Innovative activity and entrepreneurial rates in Mexico”, *Contaduría y administración*, 64 (2), Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México/Facultad de Contaduría y Administración, pp. 1-19 (2019) y “Habilidades laborales y desempeño

regional en México”, *Economía Sociedad y Territorio*, 19 (60), Zinacantepec, El Colegio Mexiquense, pp. 203-239 (2019).